

Array Lineal de Antenas Planas Excitadas por Ranuras en la Banda W

N. Amar⁽¹⁾, J. Gutiérrez⁽²⁾, A. Tazón⁽²⁾, F. Cátedra⁽³⁾, A. Mediavilla⁽²⁾

nai_amar@yahoo.fr, jessica.gutierrez@unican.es, antonio.tazon@unican.es, felipe.catedra@uah.es,
angel.mediavilla@unican.es

⁽¹⁾ Fac. Des Sciences. Université Abdel Malek Essaadi. Tetouan. Marruecos

⁽²⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria

⁽³⁾ Dpto. Ciencias de la Computación. Universidad de Alcalá

Abstract- A linear array based on three patch antennas excited by slots in W band, has been designed and is presented in this work. The design has been initially started optimizing a unique patch antenna. Then, after validating the matching and gain of this single patch, the linear array has been formed by three identical ones, obtaining a good matching and gain, with weak back radiation. A waveguide-to-microstrip transition will be necessary in the design to measure the array, therefore the simulation and measurements of a transition back-to-back has been also presented. Finally, the complete design composed of the linear array and the waveguide-to-microstrip transition has been shown without degrading the behavior of the array.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, un nuevo campo de investigación ha surgido centrado en las ondas milimétricas, submilimétricas y de terahercios [1-3]. Una de las aplicaciones a destacar es la obtención de imágenes para la seguridad en aeropuertos, gracias a las características interesantes de estas frecuencias, como son la alta resolución que se puede obtener para la obtención de las imágenes, así como la capacidad de penetrar en materiales no conductores (ropa, papel, cartón, plásticos) con una baja atenuación. Por ello, el objetivo de este trabajo está orientado en la realización de una estructura de antenas planas para aplicaciones de Imaging, en concreto, para el diseño de un radiómetro. Así, se ha realizado el diseño de un array lineal de antenas planas excitadas por ranuras en la banda W, siendo de bajo coste y fácil fabricación.

En primer lugar, se ha diseñado un único parche y tras obtener unos buenos resultados de adaptación y ganancia, se ha realizado el diseño del array de tres parches, obteniendo un ancho de banda a -10dB de 5GHz, una ganancia de 12.7dB, unos lóbulos laterales a 16dB por debajo del principal, con una radiación trasera de valores despreciables. Seguidamente se muestra el diseño de una transición guía de onda-microstrip necesaria para las posteriores medidas del array de antenas, así como la simulación y medidas experimentales de una transición. Finalmente, se muestra el diseño de la estructura completa radiante formada por el array de tres parches y la transición guía de onda-microstrip, en el que se puede observar cómo los resultados no se ven modificados por añadir la transición al diseño.

II. ARRAY DE ANTENAS PARCHES EXCITADAS POR RANURA

A. Parche simple

Como se ha comentado en el apartado anterior, el objetivo del trabajo es diseñar un array lineal de antenas tipo parche excitado por ranura, centradas en 96 GHz y que cubran un ancho de banda aproximado de 4 GHz.

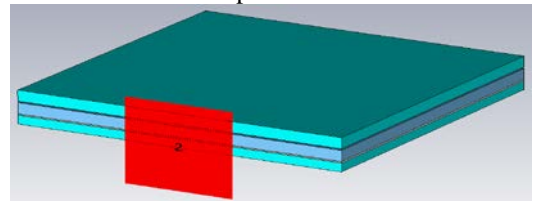


Fig. 1. Estructura de un parche simple

Para ello, en primer lugar se ha diseñado una antena basada en un parche simple [4] como se puede observar en la Fig. 1. Básicamente, está compuesto por tres capas dieléctricas que contienen las necesarias metalizaciones; la capa inferior soporta una línea microstrip de excitación de 100Ω de impedancia característica, situada en la cara posterior, la parte superior contiene el plano de masa donde se encuentran las ranuras resonantes o slots. La línea de excitación de 100Ω situada debajo del parche tiene una longitud de 0.7mm y una anchura de 0.09mm. El dieléctrico utilizado es ULTRALAM 2000 de Rogers de 4mils de espesor, con una constante dieléctrica de 2.5, una tangente de pérdidas de 0.0019 y un espesor de cobre de $18\mu\text{m}$. Este material de bajo coste permite asegurar la no propagación de modos superiores con unas pérdidas asumibles. El sustrato superior sostiene al parche metálico en su cara inferior además de actuar como radomo. Este dieléctrico es Rogers RT/Duroid 5880, que tiene como propiedades un espesor de 5mils, $\epsilon_r=2.2$ y $\text{tg}\delta=0.0009$. La capa intermedia es el sustrato radiante, en este caso aire, de espesor 5mils. Las dimensiones del parche radiante es de 1×1.1 mm mientras que el slot es de 0.7×0.09 mm. En la Fig. 2, se muestra la adaptación del parche simple de la Fig. 1 en la que se puede observar un ancho de banda 10dB de 4GHz aproximadamente centrado en 96GHz.

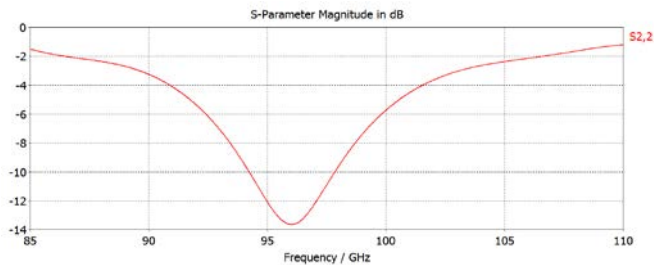


Fig. 2. Adaptación del parche simple

En la Fig. 3 se representa el diagrama de radiación 3D, en el que se puede apreciar una directividad de 9.38dBi y una importante radiación trasera debido a la inexistencia de un plano metálico en la parte inferior del sistema radiante.

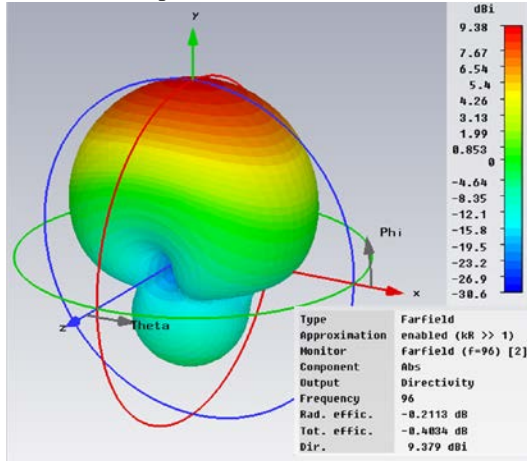


Fig. 3. Diagrama de radiación del parche simple

Este diseño se va a tomar como base a lo largo de todo el trabajo, manteniendo fijas sus dimensiones.

B. Array de tres parches

Una vez diseñado un parche base con unas buenas características de adaptación y radiación, y que satisface los objetivos planteados en este trabajo, el siguiente paso fue el diseño de una antena basada en un array de tres parches como el de la Fig. 1, confinada en una caja metálica y excitada por una línea microstrip de 50Ω, de anchura 0.26mm, encerrada en una guía de onda en corte en la banda de trabajo, para evitar la propagación de modos guiados que no sea el modo Quasi-TEM de la línea de transmisión (Fig. 4). Las principales características de las líneas de excitación del array diseñado son: las líneas de 100Ω exteriores al parche tienen una longitud de 3.7mm y están unidas por una línea de 50Ω que, a una distancia de 0.5mm, está encerrada en una guía en corte de sección 1.14x0.55 mm. La línea microstrip está situada en la cara superior de la guía.

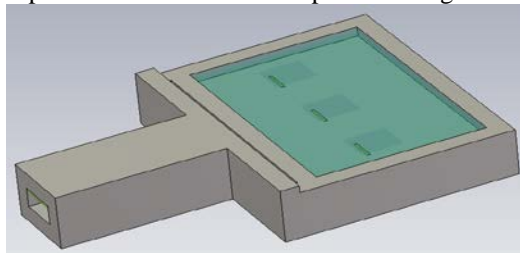


Fig. 4. Array de tres parches: Detalle de la estructura metálica

La Fig. 4 nos muestra el detalle de la estructura metálica, así como de la situación de parches y slots. Los parches tienen una separación entre centros de fases de 2.2mm,

aproximadamente 0.7λ ; la distancia desde la línea microstrip de excitación al fondo de la caja es de 0.5mm cuyas dimensiones internas son 6.6x4.5 mm.

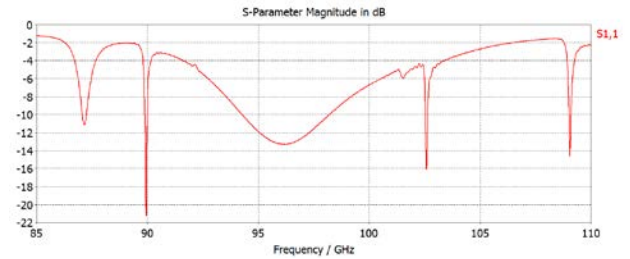


Fig. 5. Adaptación de la antena de la Fig. 4

En la Fig. 5 se presentan los resultados de simulación de la adaptación de la antena diseñada (Fig. 4) que tiene un ancho de banda a -10dB de 4 GHz aproximadamente. Las resonancias que se aprecian están fuera de la banda de interés y no se desplazan apreciablemente cuando se varían las dimensiones críticas de la caja 0.05mm, por lo que la fase tiene un comportamiento correcto dentro de la banda.

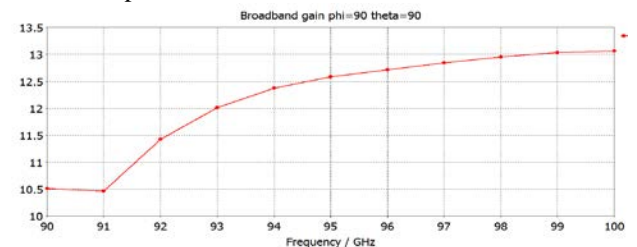


Fig. 6. Ganancia de la antena de la Fig. 4

En la Fig. 6, se puede observar la ganancia que tiene un comportamiento anómalo entre 90 y 91 GHz debido a la resonancia que se aprecia en la Fig. 5.

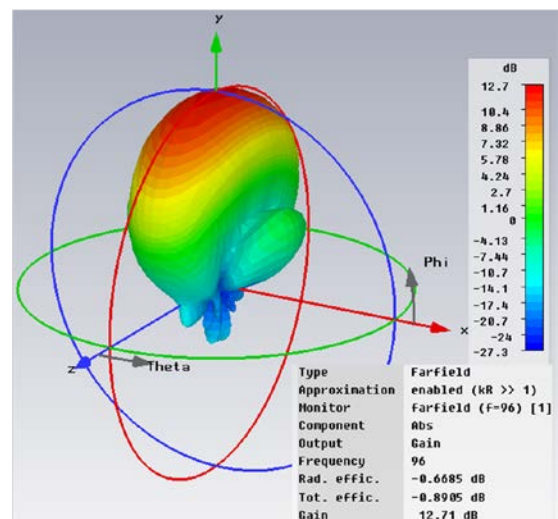


Fig. 7. Diagrama de radiación de un array de 3 parches excitados por ranura

En la Fig. 7, está representado el diagrama de radiación en campo lejano del array a la frecuencia central de 96 GHz. Se puede apreciar una ganancia de 12.7dB que se puede considerar un buen resultado, si tenemos en cuenta que se ha partido de un parche de ganancia 9.15 dB aproximadamente a esa frecuencia y que se han tenido en cuenta las pérdidas dieléctricas y resistivas de la estructura. Los lóbulos laterales están a 16 dB por debajo del principal, que es un valor típico en este tipo de estructuras [5] y la radiación trasera ha disminuido hasta valores despreciables.

III. TRANSICIÓN GUÍA DE ONDA-MICROSTRIP

El array de parches de la Fig. 4, presenta a la salida del diseño una línea microstrip de 50Ω incluida dentro de una guía en corte para que se propague únicamente el modo Quasi-TEM. Pero hay que tener en cuenta que emplearemos para las medidas experimentales un PNA-X, el cual necesita añadirle unas cabezas auxiliares a la entrada y a la salida al mismo para poder realizar las medidas en Banda W (Fig. 8), y estas cabezas emplean guías de onda WR-10, es por ello por lo que es necesario añadirle una transición guía de onda-microstrip al diseño, uniendo en este caso las partes microstrip de la estructura de antenas y de la transición.



Fig. 8. Sistema Experimental en Banda W

La estructura de la transición guía-microstrip está basada en [6]. La diferencia fundamental reside en que, en este caso se ha utilizado el sustrato ULTRALAM 2000, cuyas características han sido descritas en el apartado II, por lo que ha habido que rediseñar toda la estructura. En este caso, al ser este sustrato más fino y la ϵ_r algo mayor, las dimensiones de las líneas transformadoras y de la antena en el interior de la guía son más pequeñas. En la Fig. 9, se puede observar el detalle del diseño microstrip de la transición.

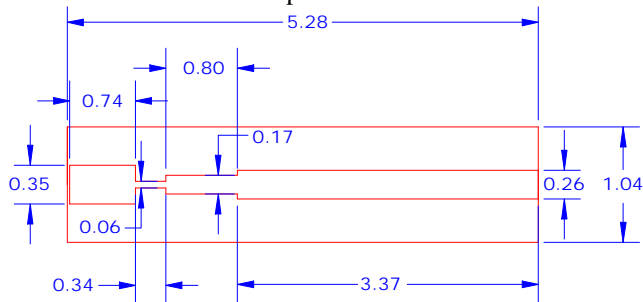


Fig. 9. Dimensiones de la Transición (unidades en mm)

El diseño de la transición ha sido realizado y optimizado mediante el simulador Ansoft HFSS y en la Fig. 10, se ha representado la estructura 3D de la misma. Se puede observar la guía de onda WR-10 de entrada, así como la guía en corte en la que se encuentran las líneas microstrip en su interior. La parte microstrip de la transición, está compuesta por la antena que captará la señal procedente de la guía de onda WR-10, a continuación hay una línea de alta impedancia para compensar la reactancia capacitiva que introduce la sonda, seguido de un transformador $\lambda/4$ para transformar la impedancia vista desde ese punto a los 50Ω deseados, que se correspondería con el tramo final de la transición.

En la Fig. 11 se pueden observar los resultados de los parámetros S obtenidos en la simulación. Se puede apreciar cómo la transición está adaptada en toda la banda de interés, mostrando unos valores siempre por debajo de -25dB hasta

105GHz, llegando incluso a -40dB en los 96GHz y unas pérdidas de valor promedio en toda la banda de -0.32dB.

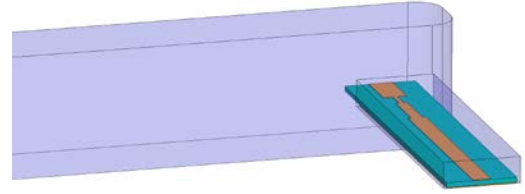


Fig. 10. Diseño de la Transición Guía de Onda-Microstrip en Banda W

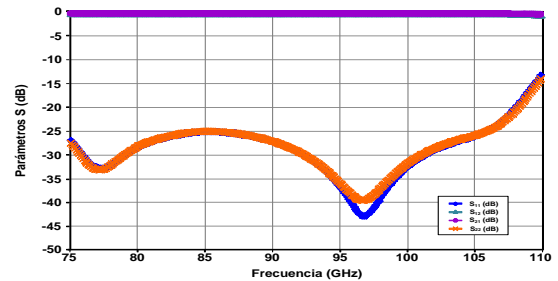


Fig. 11. Parámetros S de la Transición Guía de Onda-Microstrip

Sin embargo, hay que tener en cuenta que para poder medir en el laboratorio únicamente la transición, es necesario realizar la fabricación de una doble transición guía de onda-microstrip (transición back-to-back) [6], puesto que las dos cabezas auxiliares son en guía de onda, así que para las medidas ha sido necesario fabricar una doble transición presentando una simetría en el extremo de la terminación de la línea de 50Ω .

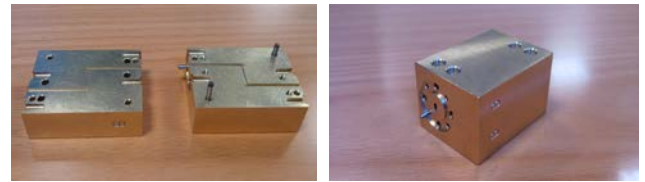


Fig. 12. Transición back-to-back en la banda W

En la Fig. 12 se observa la caja metálica donde está confinada la doble transición, y se pueden apreciar los dos tramos de guía WR10 (tramos paralelos), así como la guía en corte que los une.

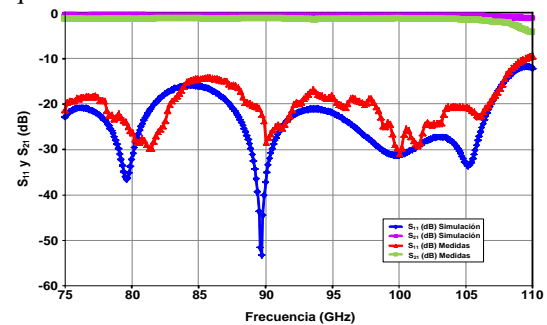


Fig. 13. Resultados de simulación y experimentales de la transición back-to-back en la banda W

Finalmente, en la Fig. 13 se puede observar una comparativa entre la simulación de la transición back-to-back y las medidas experimentales obtenidas. Se puede apreciar el buen comportamiento de la misma en toda la banda y unos resultados similares a los esperados en la simulación.

IV. ESTRUCTURA COMPLETA DEL SISTEMA RADIANTE

Una vez asegurado un buen diseño de la transición, se ha pasado a simular el sistema completo. En la Fig. 14, se

aprecia el detalle 3D de la antena, excitada mediante una guía de onda estándar WR10, unida a la caja que contiene el sistema radiante de tres parches con sus líneas de excitación de 100Ω . La unión se realiza con una guía en corte que contiene la transición guía de onda-microstrip anteriormente descrita.

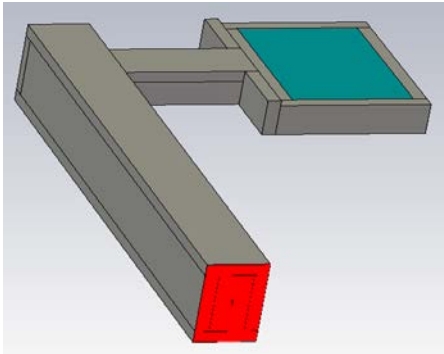


Fig. 14. Estructura completa de la antena de tres parches

En la Fig. 15 se representa la adaptación de la estructura de la Fig. 14 de la que cabe destacar que tiene un ancho de banda a -10dB de más de 5GHz aproximadamente centrada a 97GHz con un comportamiento adecuado en fase, lo que cumple las expectativas de diseño iniciales. Se observa también que las resonancias no deseadas se siguen manteniendo fuera de la banda de interés.

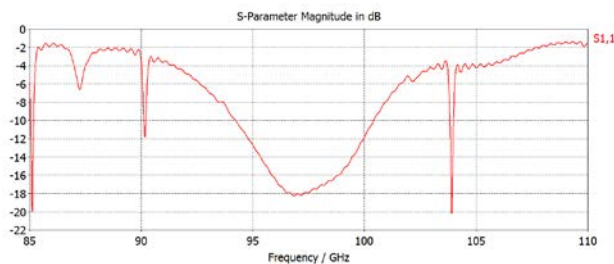


Fig. 15. Adaptación de la estructura radiante completa

En la Fig. 16 se puede observar un buen comportamiento de la ganancia de la antena excitada por guía de onda, que presenta unos valores 0.2dB por debajo de los de la Fig. 6, lo cual es lógico debido principalmente a las pérdidas de la transición.

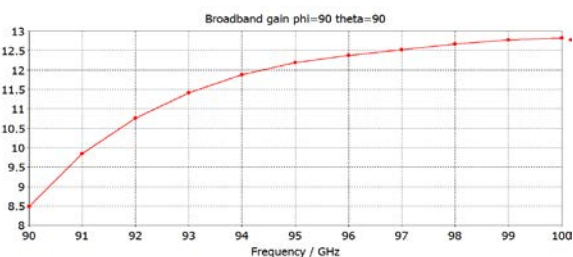


Fig. 16. Ganancia de la estructura radiante completa

Por último, en la Fig. 17 se observa el diagrama de radiación 3D de la antena a 96GHz en el que se puede apreciar una ganancia de 12.55dB con una radiación trasera 25dB por debajo del lóbulo principal. Sin embargo, los lóbulos laterales están 14dB por debajo del lóbulo principal, lo que representa 2dB superiores a la estructura de la Fig. 4.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado el diseño de una antena de bajo coste formada por un array de tres parches rectangulares excitados por ranuras en la banda W centrada

en 97GHz , con un ancho de banda a 10dB de adaptación de aproximadamente 5GHz , cuyo objetivo final es la obtención de imágenes para aplicaciones tales como seguridad, control de calidad en procesos industriales, análisis de la atmósfera, etc. Para ello, ha habido que diseñar una transición guía-microstrip utilizando una guía en corte que evite la propagación de modos no deseados, empleando para ello el sustrato ULTRALAM 2000 de 4mil s de espesor, obteniéndose buenos resultados experimentales. Las simulaciones electromagnéticas de la estructura completa, realizadas mediante el simulador CST Microwave Studio han sido muy esperanzadoras, por lo que es de suponer que podamos obtener un buen comportamiento experimental del sistema, el cual está en proceso de construcción.

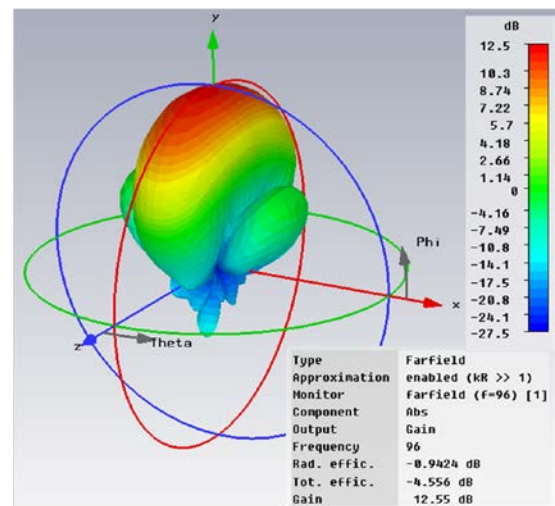


Fig. 17. Diagrama de radiación de la estructura radiante completa

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Ciencia y Economía así como de fondos FEDER a través de los proyectos CONSOLIDER CSD2008-00068 y TEC2011-29126-C03-01, dentro de los cuales se han obtenido y desarrollado todos los resultados que se presentan en este artículo.

REFERENCIAS

- [1] S. Oka, H. Togo, N. Kukutsu, and T. Nagatsuma, *Latest Trends in Millimeter-Wave Imaging Technology*, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 1, 197–204, 2008.
- [2] H. Essen, H. Fuchs, M. Hagelen, S. Stanko, D. N'otel, S. Erukulla, J. Huck, M. Schlechtweg and A. Tessmann, *Concealed Weapon Detection with Active and Passive Millimeterwave Sensors, Two Approaches*. http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-14694/Final_Papers/GM0004-F.pdf
- [3] R. Appleby, H. B. Wallace. *Standoff Detection of Weapons and Contraband in the 100GHz to 1THz Region*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 11. Nov. 2007
- [4] L. Cabria, J.A. García, J. Gutiérrez-Rios, A. Tazón and J.Vassallo. *Active Reflectors: Possible Solutions Based on Reflectarrays and Fresnel Reflectors*. International Journal of Antennas and Propagation. Vol 2009, Article ID 653952. Doi: 10.1155. 2009.
- [5] N. Amar, L. Cabria, J.A. García, A. Tazón, A. Mediavilla and F. Marante. *A transmitting Active Array with Spatially Selective Linealization*. The Second European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2007). ISSN 0537-9989. Ref. PEZ07985
- [6] J. Gutiérrez, K. Zeljami, T. Fernández, J.P. Pascual, A. Tazón, A. Mediavilla, S. Pana. *Transición Guía de Onda-Microstrip en Banda W*. URSI 2011. Leganés